VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

6 Verificarea la stări limită de serviciu

6.1 Fisurare

6.1.1 Grad de precomprimare

Pentru a asigura integritatea betonului, adică pentru a evita deschiderea fisurilor, care poate afecta armăturile pretensionate pentru motive de coroziune, primele structuri de beton precomprimat erau dimensionate astfel încât să evite orice efort de întindere în beton. Mai mult decât atât, efortul unitar minim trebuia să fie de compresiune. Elementele care respectă această condiție sunt numite cu *precomprimare totală*.

Această condiție, rezonabliă pentru construcțiile situate în medii agresive sau a căror etanşeitate era indispensabilă, nu se justifica pentru elementele adăpostite sau chiar pentru constrcțiile curunte. În consecință, reglementările ulterioare au permis în anumite cazuri apariția de eforturi unitare de întindere în beton şi chiar fisurarea, introducând noțiunea de *precomprimare parțială*.

STAS 10107/0-90 clasifică elémentele după valoarea gradului de precomprimare *K*, definit prin raportul :

$$K = \frac{\overline{M}^{0}_{(s)}}{M^{E}_{(s)}} \qquad (6.1)$$

unde :

$\overline{M}^{0}_{(s)} = \overline{P}_0 (e_{0p} + \rho_s) =$ momentul de decompresiune, care anulează momentul produs de precomprimare față de limita sâmburelui central situată de partea cea mai comprimată a secțiunii.

$M^{E}_{(s)}$ = momentul dat de încărcările totale de exploatare (combinația rară).

După valoarea lui *K* se definesc :

– elemente cu *precomprimare totală*, cu :

$$K > 1 \qquad (6.2)$$

– elemente cu *precomprimare parțială limitată*, cu :

$$1 \geq K > \frac{M^{E}_{ld(s)}}{M^{E}_{(s)}} \qquad (6.3)$$

– elemente cu *precomprimare parțială moderată*, cu :

$$\frac{M^{E}_{ld(s)}}{M^{E}_{(s)}} \geq K \geq \frac{M^{E}_{perm(s)}}{M^{E}_{(s)}} \qquad (6.4)$$

unde :

$M^{E}_{ld(s)}$ = moment date de valoarea frecventă (de lungă durată) a încărcărilor ;
$M^{E}_{perm(s)}$ = moment date de încărcările permanente.

Alegerea gradului de precomprimare se face în funcţie de agresivitatea mediului şi sensibilitatea la coroziune a armăturilor pretensionate, iar verificările la SLS de fisurare se fac corespunzător.

STAS 10107/0-90 defineşte trei clase de verificare, care vor fi discutate în detaliu în paragraful următor.

6.1.2 Clase de verificare la fisurare

Clasa I : Elemente cu *precomprimare totală*, toate tipurile de armături active.

- *Domeniu de utilizare* : etanşeitate, mediu cu agresivitate medie.
- *Încărcări considerate şi condiţii de verificare* :
  - pentru încărcările totale (valoarea rară) de serviciu, închiderea fisurilor normale şi înclinate.

Clasa II : Elemente cu *precomprimare parţială*, a) *limitată* şi armături din SBP, SBPA sau TBP ; b) *moderată* şi armături din SBP, SBPA sau TBP precum şi armături pasive complementare din PC 52.

- *Domeniu de utilizare* : mediu fără agresivitate, foarte slab sau slab agresiv.
- *Încărcări considerate şi condiţii de verificare* :
  - pentru încărcările totale de serviciu, limitarea deschiderii fisurilor normale la *0,1 mm* ; această condiţie este satisfăcută dacă $\Delta\sigma_p \leq 100\ MPa$.
  - pentru încărcările de lungă durată,
    a) închiderea fisurilor normale şi înclinate.
    b) limitarea deschiderii fisurilor normale la *0,03 mm* ; această condiţie este satisfăcută dacă $\Delta\sigma_p \leq 30\ MPa$. Închiderea fisurilor înclinate.

Clasa III : Elemente cu *precomprimare parţială moderată* şi armături din PC 90.

- *Domeniu de utilizare* : mediu fără agresivitate, foarte slab sau slab agresiv.
- *Încărcări considerate şi condiţii de verificare* :
  - pentru încărcările totale de serviciu, limitarea deschiderii fisurilor normale la :
    ⇒ *0,2 mm* (mediu fără agresivitate sau foarte slab agresiv);
    ⇒ *0,15 mm* (mediu slab agresiv);
    - limitarea deschiderii fisurilor înclinate.

6.1.3 Verificarea închiderii fisurilor normale

Condiția de verificare este ca efortul unitar minim în beton să fie de compresiune şi mai mare decât o valoare prescrisă :

$$\sigma_b \geq \sigma_b^{lim} \tag{6.5}$$

Valoarea efortului unitar minim σ_b^{lim} este :

- pentru elementele fără rosturi : 10% din efortul unitar maxim de compresiune la transfer, dar nu mai mult decât 1 MPa ;
- în secțiunile rosturilor : 1 MPa.

Efortul unitar minim în beton este dat de relațiile următoare :

- încovoiere : $$\sigma_b = \frac{\overline{M}^{0}_{(s)} - M^{E}_{(s)}}{W_{bi,i}} \tag{6.6}$$
- întindere : $$\sigma_b = \frac{\overline{P}_0 - N^E}{A_{bi}} \tag{6.7}$$

Dacă efortul unitar maxim în beton depăşeşte $0,8R_c$, trebuie ținut cont de distribuția neliniară a eforturilor de compresiune. Este permis să se țină cont într-un mod simplificat, utilizând o valoare redusă cu 20% pentru ρ_s :

$$\rho_s = 0,8\frac{W_{bi,i}}{A_{bi}} \tag{6.8}$$

6.1.4 Verificarea închiderii fisurilor înclinate

Verificarea închiderii fisurilor înclinate se face numai în cazul elementelor cu precomprimare transversală. În acset caz, eforturile principale trebuie să fie de compresiune şi superioare unei valori limită $\sigma_b^{lim} = 0,5\ MPa$.

6.1.5 Verificarea deschiderii fisurilor normale

Această verificare implică limitarea deschiderii medii a fisurilor.
Deschiderea medie a fisurilor se calculează cu relația următoare :

$$\alpha_f = \lambda_f \psi \frac{\Delta\sigma_p}{E_p} \tag{6.9}$$

unde :

λ_f = distanța medie între fisuri ;

ψ = raportul între creşterea medie a deformației armăturii între ($\Delta\varepsilon_{pm}$) şi creşterea a deformației armăturii în secțiunea fisurată ($\Delta\varepsilon_p$) ;

$\Delta\sigma_p$ = creşterea efortului unitar în armătură faţă de efortul unitar corespunzând decompresiunii ($\Delta\sigma_p = \overline{\sigma}_p - \overline{\sigma}_{p0}$).

Pentru armăturile din PC 90, calculul distanţei λ_f şi a coefcientului ψ se face ca pentru barele profilate nepretensionate.

Pentru armăturile din SBP, SBPA et TBP, se poate considera $\lambda_f = a_e$ dacă distanţa între etrieri are valori uzuale $a_e = 150...300\ mm$. În ceea ce priveşte coefcientul ψ, se consideră $\psi = 1$, pentru armături postîntinse, şi $\psi = 0{,}8$, pentru armături preîntinse.

În unele cazuri (vezi §6.1.2), deschiderea fisurilor poate fi verificată de manieră indirectă prin limitarea $\Delta\sigma_p$.

6.1.6 Verificarea deschiderii fisurilor înclinate

Această verificare este realizată de manieră indirectă, prin limitarea eforturilor principale de întindere şi prevăzând armătura transversală minimă constructivă, ca pentru elementele de beton armat.

Eforturile principale trebuie calculate la nivelul centrului secţiunii sau în punctele unde lăţimea secţiunii se schimbă (de exemplu, la limita între inimă şi talpă la secţiuni T).

Calculul eforturilor principale şi al eforturilor tangenţiale se face după regulile rezistenţei materialelor :

$$\sigma_{b1,2} = \frac{\sigma_{bx} + \sigma_{by}}{2} \mp \sqrt{\left(\frac{\sigma_{bx} - \sigma_{by}}{2}\right)^2 + \tau_b^2} \qquad (6.10)$$

$$\tau_b = \frac{\left(Q_c^E \mp \frac{M^E}{z} tan\,\beta\right) S_{bi}}{b_{net} I_{bi}} \qquad (6.11)$$

unde :

σ_{bx} = efort unitar normal în lungul axei elementului ;

σ_{by} = efort unitar normal perpendicular pe axa elementului (de exemplu, în cazul utilizării de armături transversale pretensionate) ;

$Q_c^E = Q^E - Q_p$ = forţă tăietoare de calcul, egală cu diferenţa intre forţa tăietoare datorată acţiunii încărcărilor exterioare şi componenta verticală a forţei de pretensionare din armăturile înclinate ;

S_{bi} = moment static a părţii secţiunii omogene echivalente situată deasupra fibrei unde se calculează τ_b ;

I_{bi} = moment de inerţie al secţiunii omogene echivalente ;

b_{net} = lățimea netă a secțiunii la nivelul fibrei unde se calculează τ_b ;

$\frac{M^E}{z} tan\,\beta$ = termen care ține cont de efectul compresiunii înclinate date de încovoiere în cazul secțiunilor de înălțime variabilă.

Zona elementului unde se face verificarea este în stare biaxială de tensiuni (compresiune – întindere), şi se consideră de manieră simplificată că curba limită de interacțiune în această situație este o linie dreaptă de ecuație :

$$\frac{\sigma_{b1}}{R_t} + \frac{\sigma_{b2}}{R_c} = 1 \qquad (6.12)$$

Ecuațiile de verificare, în funcție de clasa de verificare (vezi figura 6.1), sunt :

Clasa I :

$$\sigma_{b1} \le R_t\left(1 - \frac{\sigma_{b2}}{R_c}\right) \qquad (6.13)$$

Clasa II :

$$\sigma_{b1} \le R_{tk}\left(1 - \frac{\sigma_{b2}}{R_{ck}}\right) \qquad (6.14)$$

Clasa III :

$$\sigma_{b1} \le 1{,}5R_{tk}\left(1 - \frac{\sigma_{b2}}{1{,}5R_{ck}}\right) \qquad (6.15)$$

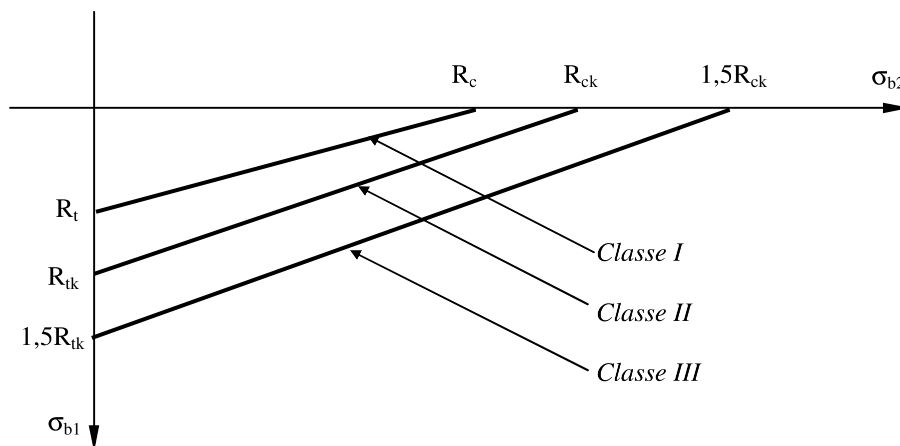


Figura 6.1 – Reprezentarea grafică a ecuațiilor de verifcare a deschiderii fisurilor înclinate

6.1.7 Verificarea la fisurare longitudinală

Pentru a evita apariția fisurilor longitudinale, paralele cu direcția compresiunii din beton, la transfer, trebuie limitat efortul unitar de compresiune sub acțiunea precomprimării.

Valorile limită ale efortului unitar de compresiune sunt date in tabelul următor :

Tabelul 6.1 - Valori limită ale efortului unitar de compresiune după STAS 10107/0-90

Clasa betonului	Bc 25	Bc 30	Bc 35	Bc 40	Bc 50	Bc 60
$\sigma_{b,lim}$	14	16,5	19	21	25	29

6.2 Deformație

6.2.1 Verificarea la SLS de deformație

Condiția de verificare este următoarea :

$$f \leq f_{adm} \qquad \text{sau} \qquad \Delta f \leq \Delta f_{adm} \qquad (6.16)$$

Valorile f_{adm} (Δf_{adm}) sunt aceleaşi cu cele pentru elemente de beton armat (vezi [4], capitolul 14, tabelul 14.1).

Valorile f sunt calculate după regulile mecanicii structurilor, dar cu valori ale modulilor de rigiditate care țin cont de comportarea specifică a betonului precomprimat.

6.2.2 Calculul modulului de rigiditate al secțiunii

Calculul modulului de rigiditate se face diferit în funcție de gradul de precomprimare al elementului.

Pentru elementele cu precomprimare totală sau parțială limitată, cu armături din en SBP, SBPA şi TBP, se consideră practic o secțiune nefisurată. Valorile modulului de rigiditate, pentru diferite solicitări şi combinații de încărcări, sunt date în Tabelul 6.2.

Pentru elementele cu precomprimare parțială moderată (armături active din SBP, SBPA, TBP şi armături pasive complementare din PC 52, sau armături actives din PC 90), se aplică formulele din Tabelul 6.2 dacă momentul aplicat nu depăşeşte momentul de decompresiune. În caz contra trebuie calculată rigiditate în stadiul II, cum s-a arătat în [4], capitolul 7.3, pe baza unei secțiuni fisurate omogene echivalente.

În acest ultim caz, în STAS 10107/0-90 sunt date relațiile de calcul următoare:

$$(EI)_{II} = \beta E_a A_{at} h_{0t}^2 \qquad (6.17)$$

unde :

$A_{at} = A_p \dfrac{E_p}{E_a} + A_a$ = aria echivalentă a secțiunii totale a armăturilor

$$\beta = \frac{\zeta(1-\xi)}{\psi}$$

$\zeta = \dfrac{z}{h_{0t}}$ = valoare normalizată a brațului de pârghie

$\xi = \dfrac{x}{h_{0t}}$ = valoare normalizată a înălțimii zonei comprimate

Tabelul 6.2 – Modulul de rigiditate al elementelor cu precomprimare totală sau parțială limitată

Combinația de încărcări	Modul de rigiditate	
	Forță axială	Încovoiere
Încărcări de scurtă durată (valoarea rară) – în faza inițială	$(EA)_s = 0,85\ E_{b0}A_{bi}$	$(EI)_s = 0,85\ E_{b0}I_{bi}$
– în faza finală	$(EA)_s = 0,85\ E_bA_{bi}$	$(EI)_s = 0,85\ E_bI_{bi}$
Încărcări permanente şi variabile de lungă durată (valoarea frecventă)	$(EA)_d = 0,85\dfrac{E_bA_{bi}}{1+0,5\overline{\varphi}}$	$(EI)_d = 0,85\dfrac{E_bI_{bi}}{1+0,5\overline{\varphi}}$